

Degradasi Zat Warna Metanil Yellow dengan Katalis TiO₂ Menggunakan Metode Fotosonolisis

Tiwi Reflia¹, Hary Sanjaya*², Septian Budiman³

^{1,2,3}Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang, Indonesia

*hary.s@fmipa.unp.ac.id

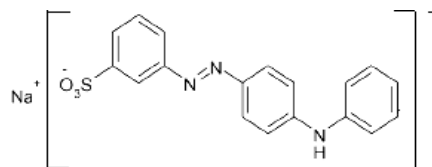
Abstract — The photolysis method has been investigated to degrade the metanil yellow in a sample solution using the catalyst of TiO₂. This study aims to determine how the effect of adding catalyst mass to the degradation of metanil yellow. The variation of the mass of the catalyst used to degrade the metanil yellow dye is from 0.5 grams, 0.1 grams, 0.15 grams, and 0.25 grams at 120 minutes according to the optimum time. The UV-Vis spectrophotometer was used to calculate the absorbance of metanil yellow before and after degradation processes, while FTIR was used to determine the spectrum and functional groups before and after degradation. The results of the measurement of the maximum wavelength of the color of metanil yellow using a UV-Vis spectrophotometer were 434 nm with an absorbance value of 0.267. In the variation of the catalyst mass, the optimum mass obtained at 0.1 grams of TiO₂ catalyst with %D obtained was 35,58 %. In this study, the presence of hydroxyl radicals produced during photosynthesis plays an important role in degrading metanil yellow.

Keywords — degradation, photolysis, metanil yellow, TiO₂

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan dan perluasan sektor tekstil Indonesia, bersama dengan industri lainnya, menghasilkan sejumlah besar sampah organik yang berasal dari senyawa golongan azo, sehingga menimbulkan dampak yang signifikan. Molekul azo yang disebutkan di atas dapat diterapkan secara luas di banyak industri seperti tekstil, kertas, farmasi, dan laboratorium karena kemampuannya yang luar biasa dan proses pembuatannya yang mudah. Pemanfaatan pewarna makanan pada produk makanan ringan populer yang banyak ditemukan di pasar massal bertujuan untuk menghasilkan warna yang mencolok secara visual dan dapat menarik perhatian konsumen [1]. Pewarna azo, yang merupakan sekitar 70% dari seluruh pewarna, sering digunakan dalam industri tekstil. Pewarna azo, biasa disebut *azo dyes*, banyak digunakan dalam industri tekstil sebagai zat pewarna. Keberadaan zat warna azo dalam air atau lingkungan dapat menjadi sumber penyakit karena karsinogenisitas, toksisitas, *non-biodegradabilitas* dan mutagenitasnya. Zat warna azo sulit didegradasi karena struktur dan stabilitasnya yang kompleks [2]. Salah satu jenis cemaran zat warna antara lain zat warna yang berasal dari senyawa azo dan turunan golongan benzena seperti *metanil yellow*. *Metanil yellow* tergolong senyawa kimia azo amina aromatik. Paparan senyawa ini dalam waktu lama telah dikaitkan dengan perkembangan tumor di berbagai jaringan, termasuk hati, kandung kemih, saluran pencernaan, dan jaringan kulit. Selain itu, *metanil yellow* berpotensi menyebabkan iritasi mata. Perlu dicatat bahwa sifat racun dari metanil kuning dapat dikaitkan dengan konstituenya, yaitu asam methanilat dan difenilamin, yang keduanya dikenal

karena sifat toksiknya [3]. Oleh karena itu, residu pewarna *metanil yellow* harus diolah terlebih dahulu sebelum dilepaskan ke lingkungan [1].



Gambar 1. Struktur *Metanil Yellow*

Rumus senyawa *metanil yellow* adalah C₁₈H₁₄N₃O₃Na. Di dalam strukturnya, terdapat ikatan N=N. Nama ilmiah zat ini adalah Natrium 3-[(4-Nphenylamino) phenylazo] benzene sulfonate, dan mewakili garam natrium dari methanylazo diphenylamine [1]. *Metanil kuning* adalah pigmen yang disintesis secara kimia yang berbentuk bubuk kuning kecoklatan, menunjukkan kelarutan dalam air dan kelarutan terbatas dalam aseton. [1]. Berbagai teknik telah digunakan untuk mengatasi masalah pengelolaan limbah pewarna. Teknik-teknik ini mencakup pendekatan fisik seperti adsorpsi, presipitasi, dan osmosis balik, serta prosedur kimia seperti klorinasi, ozonasi, dan fotolisis. Di antara beberapa metode yang tersedia, metode fotosonolisis muncul sebagai pendekatan yang paling mujarab untuk penguraian zat warna. Metode ini, yang diklasifikasikan sebagai proses oksidasi lanjutan (AOP), secara sinergis mengintegrasikan prinsip-prinsip teknik fotolisis dan sonolisis [4].

Fotosonolisis adalah proses kimia yang digunakan untuk degradasi pewarna yang ada dalam air limbah. Metode ini menggabungkan prinsip fotolisis dan sonolisis, sehingga menghasilkan degradasi pewarna yang lebih efisien. Metode tersebut potensi mengurai limbah zat warnanya lebih cepat [2]. Interaksi antara molekul air dan radiasi cahaya terjadi selama fotolisis, sedangkan gelombang mekanik dihasilkan karena aksi kavitasi pada air selama sonolisis [5]. Pemanfaatan katalis semikonduktor dalam proses fotonolisis telah menunjukkan kemampuan menghilangkan atau memecah sisa pewarna secara efisien dan cepat [6]. TiO₂ adalah katalis yang banyak digunakan dalam industri tekstil dan penelitian ilmiah mutakhir. Alasannya karena TiO₂ memiliki beberapa keunggulan, antara lain harga yang ekonomis, tidak beracun, dan yang terpenting adalah stabilitas dan aktivitasnya dibawah radiasi cahaya. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa titanium dioksida merupakan fotokatalis yang ramah lingkungan [7]. Titanium dioksida menyerap sinar ultraviolet dengan melepaskan elektron dari pita valensi ke pita konduksi, di mana mereka dapat membentuk pasangan dengan elektron lain dan mengisi lubang pita valensi yang sesuai dengan muatan positif [8]. Titanium dioksida (TiO₂) memiliki celah pita energi berkisar antara 3,2 eV hingga 3,8 eV, seperti yang dilaporkan dalam referensi [9]. Besarnya *band gap* ini akan berdampak pada mekanisme transisi elektron dari pita valensi ke pita konduksi [10]. Penelitian ini menyelidiki degradasi *metanil yellow* melalui penggunaan teknik fotosonolisis, yang telah dibahas sebelumnya sehubungan dengan manfaat penggunaan metode TiO₂ dan katalis.

II. METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan seperangkat instrumen berbentuk kotak yang terdiri dari tiga buah lampu UV Germicide Yamano dengan panjang gelombang 254 nm dan keluaran daya 15 watt, serta pembersih ultrasonik Sunshine Csp 889 yang beroperasi pada frekuensi 45 kHz. Selain itu, spektrofotometer UV-Vis Agilent 8543 digunakan dalam penelitian ini. Selain peralatan tersebut di atas, laboratorium juga dilengkapi dengan gelas kimia, labu ukur, labu erlenmeyer, dan peralatan lain yang biasa digunakan.

Zat warna *metanil yellow*, katalis TiO₂, dan air suling digunakan dalam penelitian ini.

B. Prosedur Kerja

1. Pembuatan Larutan Zat Warna Metanil Yellow

Untuk menghasilkan larutan limbah yang representatif, 0,2 gram bubuk *metanil yellow* melalui penggunaan teknik fotosonolisis, yang telah ddilarutkan dalam 1000 mL air suling. Bubuk kuning metanil menghasilkan larutan induk *metanil yellow* 200 ppm. Larutan *metanil yellow* 10 ppm dihasilkan dengan mengencerkan 50 mL larutan stok dengan aquades hingga tanda batas dalam labu takar 1000 mL.

2. Degradasi Metanil Yellow dengan Metode Fotosonolisis

Sebelum dilakukan proses degradasi zat warna *metanil yellow*, penentuan panjang gelombang maksimum (I_{max}) dilakukan melalui pemanfaatan spektrofotometri UV-Vis pada rentang panjang gelombang 400-800 nm.

Degradasi Larutan Metanil Yellow dengan Variasi Waktu secara Fotosonolisis

Larutan sampel 10 ppm dimasukkan ke dalam gelas piala 250 mL sebanyak 80 mL, lalu ditambahkan dengan 0,1 gram TiO₂, setelah itu ditempatkan ke dalam kotak yang telah dirangkai dalam lampu UV 45 watt dan disonikasi dengan alat ultrasonik berfrekuensi 45 kHz dengan daya 50 watt selama 30 menit. Untuk variasi waktu sonikasi dilakukan pada selang waktu 60, 90, etc.

Degradasi Larutan Metanil Yellow dengan Variasi Massa Katalis secara Fotosonolisis

Larutan dengan konsentrasi 10 bagian per juta (ppm) dimasukkan ke dalam gelas kimia berkapasitas 250 mL, namun hanya diisi hingga volume 80 mL. Selanjutnya, katalis seberat 0,05 gram dimasukkan ke dalam larutan. Selanjutnya campuran yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam wadah yang dilengkapi lampu UV dengan daya keluaran 45 watt dan dilakukan perlakuan ultrasonik pada frekuensi 45 kHz dengan menggunakan tingkat daya 50 watt. Semua katalis, dengan berat 0,1 gram, 0,15 gram, 0,2 gram, dan 0,25 gram, dilakukan prosedur yang sama.

3. Karakterisasi Sampel dengan FTIR

Gugus fungsi pada sampel diukur dengan menggunakan instrumen FTIR. Larutan senyawa *metanil yellow* yang belum didegradasi, dan yang sudah didegradasi menggunakan katalis TiO₂ pada massa optimum, dapat dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR. Hasil dari karakterisasi dengan FTIR dapat digunakan untuk mengetahui informasi gugus fungsi yang terdapat pada sampel sebelum dan sesudah didegradasi.

4. Teknik Analisa Data

Pengukuran serapan yang dilakukan dengan instrumen UV-Vis pada larutan metanil yellow menjadi data untuk penelitian ini. Larutan uji dibandingkan sebelum dan sesudah degradasi, serta dosis radiasi dan keberadaan katalis yang berbeda, untuk menarik kesimpulan.

Persentase degradasi (%D) dapat dihitung dengan menggunakan :

$$\% D = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100 \% \quad (1)$$

A₀ (cm⁻¹) adalah absorbansi mula-mula dan A_t (cm⁻¹) adalah absorbansi pada waktu t.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

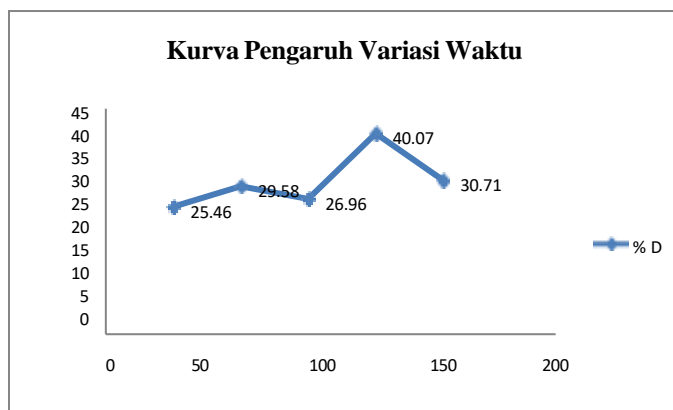
A. Degradasi Metanil Yellow secara Fotosonolisis

Langkah awal yang dilakukan sebelum pengujian % degradasi *metanil yellow* adalah menghitung panjang

gelombang maksimum zat warna pada konsentrasi 10 ppm, dimana hasil panjang gelombang maksimum ini nantinya akan dimanfaatkan untuk menghitung nilai absorbansi pada sampel sebelum dan sesudah degradasi. Hasil uji UV-VIS didapatkan λ_{maks} *metanil yellow* yaitu 434 nm dan dengan absorbansi 0,267.

1. Degradasi *Metanil Yellow* Variasi Waktu dengan Katalis TiO_2 Menggunakan Metode Fotosonolisis

Waktu merupakan komponen penting yang berpengaruh terhadap proses degradasi *metanil yellow*. Durasi degradasi *metanil yellow* dinilai dengan memvariasikan durasi pemaparan menjadi 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Sejumlah 80 mililiter larutan *metanil yellow* kuning, yang memiliki konsentrasi 10 bagian per juta (ppm), dimasukkan ke dalam 0,1 gram fotokatalis TiO_2 . Selanjutnya campuran tersebut diiradiasi dengan menggunakan lampu UV 45 watt dengan durasi tertentu, dilanjutkan dengan sonikasi dengan frekuensi ultrasonik 45 kilohertz (kHz) dan daya keluaran 50 watt.



Gambar 1. Kurva pengaruh variasi waktu terhadap degradasi *metanil yellow* menggunakan metode fotosonolisis

Pada gambar 1 menunjukkan data hasil dari degradasi dengan variasi waktu penyinaran, nilai % degradasi *metanil yellow* mengalami peningkatan dengan perubahan yang tidak terlalu signifikan pada menit ke 30, 60, dan 90 dengan nilai persen degradasinya sebesar 25,46 %, 29,58 %, dan 26,96%. Akan tetapi hasil % degradasi *metanil yellow* mengalami peningkatan yang cukup signifikan pada menit ke 120 yaitu sebesar 40,07 %. Peningkatan nilai % degradasi ditandai dengan penurunan nilai absorbansi yang diperoleh selama proses degradasi. Penurunan nilai absorbansi ini sesuai dengan hasil penelitian [11] bahwa nilai absorbansi larutan semakin menurun seiring bertambahnya waktu penyinaran dan katalis semakin banyak menyerap energi cahaya seiring bertambahnya waktu penyinaran. Penurunan nilai absorbansi menunjukkan banyaknya senyawa organik yang terurai.

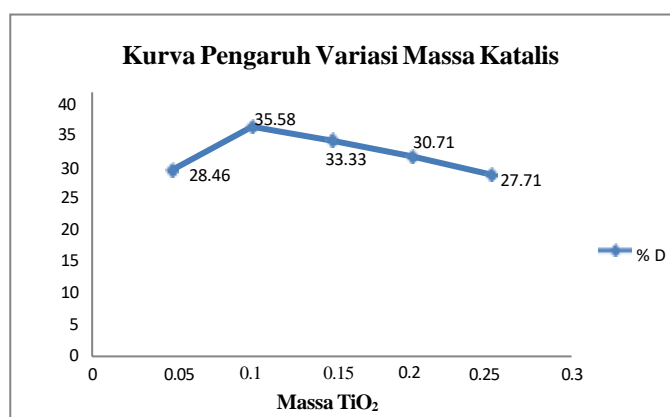
Waktu optimum yang dihasilkan dari variasi waktu adalah 120 menit yang akan digunakan untuk penelitian berikutnya. Pada saat waktu 150 menit, % degradasi *metanil yellow* mengalami penurunan sebesar 30,71%. Hal

ini disebabkan oleh kelebihan H_2O_2 yang terbentuk selama proses sonikasi. Oleh karena itu, senyawa ini bereaksi dengan katalis TiO_2 dan selanjutnya membentuk radikal hidroperoksi ($\bullet\text{OOH}$) [12]. Namun, beberapa radikal HO_2 masih mampu bergabung dengan radikal $\bullet\text{OH}$ menghasilkan H_2O . Radikal OOH adalah molekul gas tidak larut yang hanya dapat menempel pada permukaan fotokatalis, sehingga menghalangi transmisi energi foton [13].

2. Degradasi *Metanil Yellow* Variasi Massa dengan Katalis TiO_2 Menggunakan Metode Fotosonolisis

Pada penelitian ini dilakukan degradasi *metanil yellow* pada konsentrasi 10 ppm, setelah itu 80 mL larutan *metanil yellow* disinari dengan lampu UV dengan daya 45 watt dan disonikasi pada frekuensi ultrasonik 45 kHz. Katalis TiO_2 ditambahkan dengan perubahan massa yang berbeda seperti 0.05 g, 0.1 g, 0.15 g, 0.2 g, 0.25 g selama 120 menit dengan daya 50 watt sesuai dengan waktu optimum yang ditentukan oleh uji variasi waktu. Massa katalis ini divariasikan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi massa optimum TiO_2 sebagai katalis dan bagaimana pengaruh penambahan katalis TiO_2 terhadap hasil degradasi *metanil yellow*.

Proses degradasi *metanil yellow* dilakukan dalam reaktor fotosonolisis yang telah dimodifikasi. Hasil degradasi ini kemudian disaring dengan kertas saring kemudian disentrifuge untuk memisahkan katalis dari larutan yang terdegradasi. Absorbansi larutan kemudian diukur dengan spektrofotometer UV-Vis dan nilai ini nantinya digunakan untuk menghitung % D dari *metanil yellow* yang terdegradasi. Kurva pengaruh perubahan massa katalis pada persentase degradasi *metanil yellow* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva pengaruh variasi massa katalis TiO_2 terhadap degradasi *metanil yellow* menggunakan metode fotosonolisis

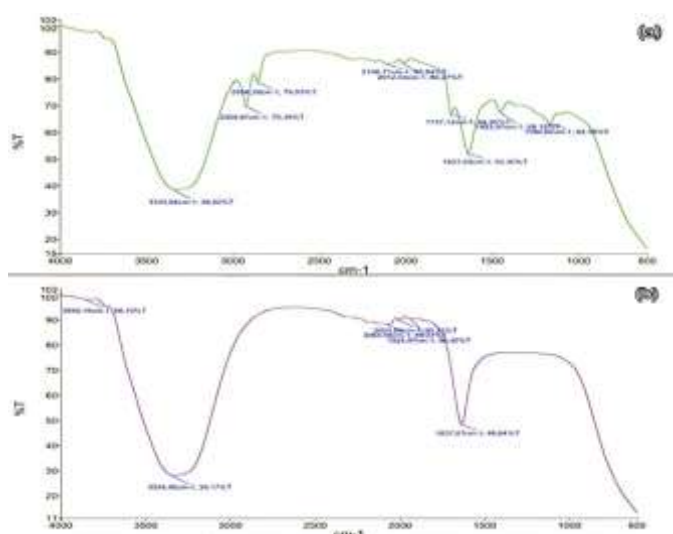
Pada Gambar 2 terlihat bahwa degradasi *metanil yellow* meningkat pada massa 0,1 gram, diperoleh nilai degradasi sebesar 35,58%. Peningkatan laju degradasi dapat dipengaruhi dengan menambahkan fotokatalis TiO_2 ke dalam larutan *metanil yellow*. Oleh karena itu, jumlah sisi aktif pada fotokatalis juga bertambah, yang meningkatkan energi foton yang diserap, sehingga

meningkatkan proses produksi radikal $\bullet\text{OH}$ selama degradasi sampel [14].

Proses degradasi dapat menurunkan intensitas zat warna yang ditunjukkan dengan perubahan warna larutan *metanil yellow*. Variasi katalis ini mencapai persentase degradasi tertinggi, yaitu 35,58%, ketika digunakan 0,1 gram katalis TiO_2 dan waktu radiasi 120 menit. Massa ini merupakan massa yang paling efektif yang digunakan untuk mendegradasi *metanil yellow*. Gambar 1 menunjukkan bahwa massa katalis optimum adalah 0,1 gram katalis TiO_2 dan semakin menurun seiring bertambahnya massa katalis yang digunakan. Peningkatan sebesar 28,46%, 33,33%, 30,71%, 27,71% dicapai dengan menggunakan massa katalis TiO_2 sebesar 0,05, 0,15, 0,2 dan 0,25 gram. Menurut penelitian [15], penambahan katalis ini memiliki titik jenuh dimana nilai absorbansi yang dihasilkan berhenti menurun, akan tetapi katalis yang terlalu banyak akan mempengaruhi nilai absorbansinya akibat kekeruhan larutan sampel yang membuat absorbansinya meningkat, sehingga dapat mengurangi penyerapan energi foton pada permukaan fotokatalis, mengakibatkan berkurangnya pembentukan radikal $\bullet\text{OH}$ dalam proses degradasi *metanil yellow* [16].

3. Karakterisasi Metanil Yellow Sebelum dan Setelah Degradasi Menggunakan FTIR

Gugus fungsi metanil kuning sebelum dan sesudah degradasi akan dianalisis menggunakan spektroskopi inframerah transformasi Fourier (FTIR). Spektrum inframerah adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara panjang gelombang dan bilangan gelombang. Jumlah puncak serapan (pita) pada frekuensi atau bilangan gelombang tertentu biasanya dapat dilihat dalam suatu spektrum. Spektroskopi inframerah biasanya beroperasi pada rentang bilangan gelombang 4000 hingga 600 cm^{-1} . Spektra FTIR sebelum dan sesudah degradasi *metanil yellow* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar spektrum (a) menampilkan beberapa puncak, yang pertama merupakan ikatan O-H pada bilangan gelombang 3333,96 cm^{-1} , diikuti oleh ikatan C-H pada

bilangan gelombang 2924,87 cm^{-1} , 2856,38 cm^{-1} , dan 1453,91 cm^{-1} . C = C alkena pada 1737,12 cm^{-1} dan 1166,60 cm^{-1} , diikuti oleh ikatan C alkuna pada 2106,71 cm^{-1} yang menunjukkan adanya molekul aromatik. Salah satu jenis ikatan yang paling umum dalam molekul organik adalah C=O [17].

Dilihat pada gambar (b), ini merupakan spektrum metanil yellow sesudah didegradasi yang mana mengalami pengurangan jumlah puncak. Menurut penelitian [1], hasil dari degradasi senyawa organik ini diprediksi akan menghasilkan produk berupa senyawa H_2O , CO_2 , dan asam. Beberapa puncak, termasuk salah satunya pada bilangan gelombang 3334,95 cm^{-1} , menunjukkan adanya ikatan O-H, sebagaimana diantisipasi dengan adanya gugus OH dalam air, seperti terlihat pada spektrum (b). Ikatan C=O pada 1637,07 cm^{-1} menunjukkan adanya molekul asam anhidrida, sedangkan ikatan C=C pada 2108,22 cm^{-1} menunjukkan adanya alkuna [18].

Dalam kisaran bilangan gelombang 4000-1400 cm^{-1} , terdapat wilayah berbeda di bagian kiri spektrum inframerah (IR), yang berfungsi untuk membedakan dan mengkarakterisasi berbagai gugus fungsi. Daerah ini menunjukkan serapan akibat getaran regangan. Getaran regangan, kadang-kadang disebut sebagai regangan, merupakan karakteristik gugus fungsi penting, seperti OH dan C=O, yang lazim dalam domain ini [19].

Kisaran ke kanan 1400 cm^{-1} biasanya sangat rumit karena getaran uluran atau tekukan menyebabkan penyerapan pada daerah ini. Dalam rentang ini biasanya tidak mungkin untuk mengetahui secara pasti bagaimana suatu pita berhubungan dengan gugus fungsi tertentu, tetapi setiap senyawa organik memiliki daya serap tersendiri yang sangat unik. Oleh karena itu, bagian spektrum ini dapat disebut wilayah sidik jari (*fingerprint*). Daerah sidik jari ini harus cocok antara dua spektrum untuk menyimpulkan bahwa kedua senyawa itu sama, meskipun sisi kiri spektrum terlihat sama untuk senyawa serupa [19].

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian waktu optimum yang diperoleh guna mendegradasi metanil yellow menggunakan metode fotolisis adalah selama 120 menit dengan persentase degradasinya sebesar 40,07 %. Hasil degradasi zat warna metanil yellow 10 ppm dapat didegradasi secara fotolisis sekitar 35,58 % dengan menggunakan katalis TiO_2 sebanyak 0,1 gram.

REFERENSI

- [1] Safni, Sari, F. Maizatisna, dan Zulfarman, Degradasi Zat Warna Methanil Yellow Secara Sonolisis dan Fotolisis dengan Penambahan TiO_2 Anatase. *J. Sains Material Indonesia*. 2009. 1(1): 47 – 51
- [2] Sanjaya, H., Hardeli, & Syafitri, R. 2018. Degradasi Metil Violet menggunakan Katalis ZnO-TiO_2 secara Fotolisis. *EKSAKTA*. 19(1): 92
- [3] Steiman, Shawn R., Harry C. Bittenbender, and Travis W. Idol. "Analysis of kaolin particle film use and its application on coffee." *HortScience* 42.7 (2007): 1605-1608.

- [4] Rashid, M., Zarkadas, M., Anca, A., & Limeback, H. (2011). *Oral manifestations of celiac disease: a clinical guide for dentists*. J Can Dent Assoc, 77(b39), 1-6.
- [5] Safni, Maizatrisna, Zulfarman dan T,Sakai, 2007. Degradasi Zat Warna *Naphthol Blue Black* secara Fotolisis dan sonolisis dengan Penambahan TiO₂-Anatase.Universitas Andalas.J.Ris.Kim.Vol, 1.No. 1 Evidence for OHRadical- *Madiated Degration*. J.Phys.Chem, A.105: 3176-3181
- [6] Arriaga, F.M. (2009). *Advanced oxidation processes (photocatalysis, photo-fenton and sonolysis) for removal of pharmaceutical pollutants in water* (Doctoral dissertation, Universitat de Barcelona).
- [7] Agusty, I. P. (2012). Penggunaan Zeolit Terimpregnasi TiO₂ Untuk Mendegradasi Zat Warna Congo Red.Universitas Airlangga.
- [8] Gunlazuardi, dan Andayan,i W. Evaluasi Dekloronasi dan Pemecahan Cincin Aromatis Selama Degradasi Pentaklorofenol secara Fotokatalis pada Permukaan Lapisan Tipis Titanium Dioksida, Prosiding Seminar Nasional Himpunan Kimia Indonesia UPI Bandung. 28-29 Mei 2002.
- [9] Beiser A and Lagemann R T 1968 BOOKS: *Concepts of Modern Physics Phys. Teach.* 6 43–43
- [10] Lestari, Mastuti Widi. 2013. Sintesis dan Karakterisasi Nanokatalis CuO/TiO₂ yang Diaplikasikan pada Proses Degradasi Limbah Fenol. Indo. J. Chem 2.
- [11] Kasuma, Nola Yulia. 2012. “Penggunaan Komposit ZnO-CuO yang Disintesis secara *Sonochemistry* yang digunakan sebagai Katalis untuk Fotodegradasi Metil Orange dan Zat Antibakteri.” Skripsi, Universitas Andalas. Padang, Indonesia.
- [12] Joseph, C. G. (2015). *Sonolysis, photolysis, and sequential sonophotolysis for the degradation of 2,4,6-Trichlorophenol: the effect of solution concentration*. *Chemical Engineering Communications*, 1061–1068.
- [13] N. A. Youssef, S. A. Shaban, F. A. Ibrahim, and A. S. Mahmoud, “*Degradation of Methyl Orange Using Fenton Catalytic Reaction*,” *Egypt. J. Pet.*, vol. 25, no. 3, pp. 317–321, 2016, doi: 10.1016/j.ejpe.2015.07.017.
- [14] Fraditasari, R., Wardhani, S., & Khunur, M. M. (2015). Transformasi Methyl Orange menggunakan fotokatalis TiO₂-N: Kajian Pengaruh Sinar dan Konsentrasi TiO₂-N. *Jurnal Ilmu Kimia Universitas Brawijaya*, 1(1), pp606.
- [15] Wibisono, G. K., Wardhani, S., & Purwonugroho, D. (n.d.). Studi Pengaruh Konsentrasi Ion Persulfat Terhadap Transformasi Methyl Orange Menggunakan Fotokatalis Tio₂-bentonit. *Brawijaya University*.
- [16] Permatasari, O. S., Wardhani, S., & Darjito, D. (2015). Studi Pengaruh Penambahan H₂O₂ terhadap Transformasi *Methyl Orange* menggunakan Fotokatalis TiO₂-N. *Jurnal Ilmu Kimia Universitas Brawijaya*, 1(1), pp-661.
- [17] Pavia, D. L., Lampman, G. M., & Kriz, G. S. (n.d.). dan Vyvyan, JR 2009. *Introduction to Spectroscopy*. Sauders College. Philadelphia.
- [18] Santoni, A. (2009). Elusidasi Struktur Senyawa Metabolit Sekunder Kulit Batang 49 Surian (*Toona sinensis*) Meliaceae dan Uji Aktivitas Insektisida. Disertasi. Program Pascasarjana Universitas Andalas. Padang.
- [19] Suarsa, I. W., & SUARSA, I. W. (2017). Analisis Gugus Fungsi pada Bensin dengan Spektrofotometri Infra Merah.